

Минобрнауки России
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Физический факультет
Кафедра ядерной физики

Вопросы безопасности атомных электростанций с реакторами ВВЭР-1200

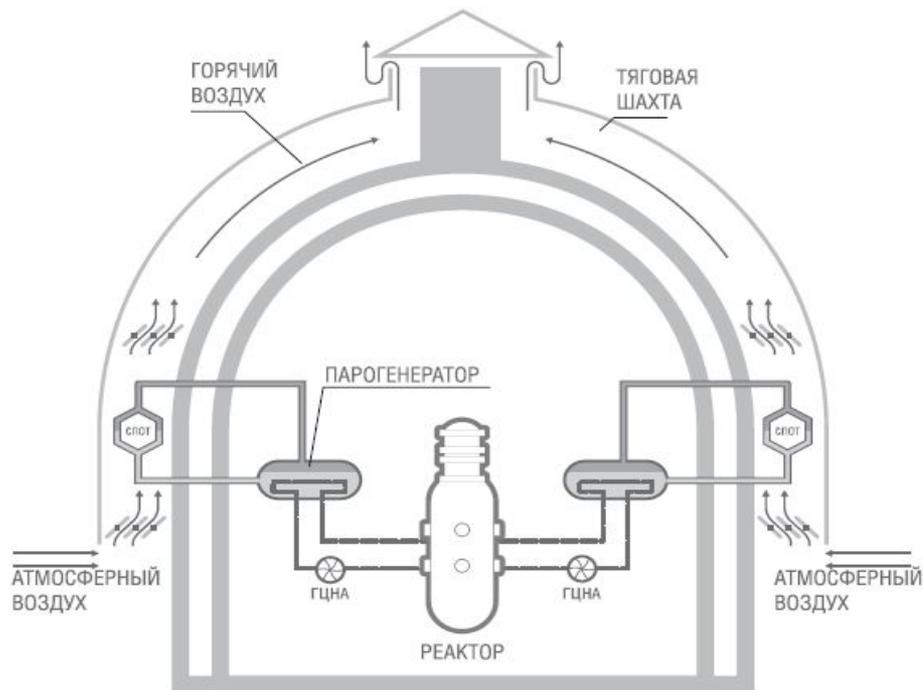
Выполнила: Рубашкина Е.М.
Руководитель: Алейников А.Н., к.ф.-м.
н.

Воронеж 2014

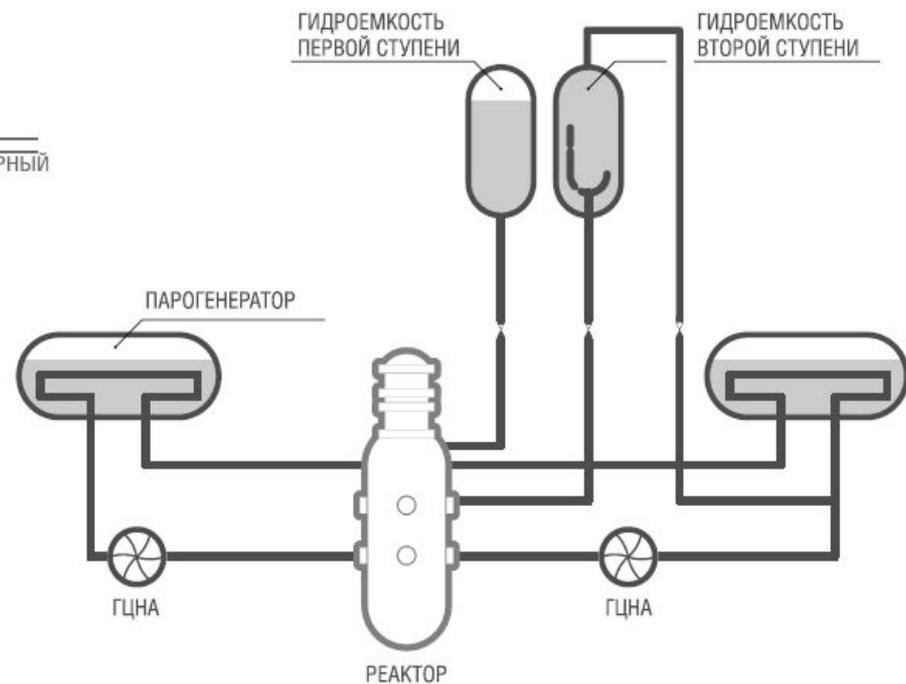
Цели работы:

1. Анализ перспектив проекта «АЭС-2006» и основных тенденций развития систем безопасности атомных электростанций.
2. Оценка давления внутри тепловыделяющего элемента (ТВЭЛа) к концу топливной кампании для повышенных глубин выгорания топлива.
3. Оценка прочностных свойств оболочки ТВЭЛа.

Пассивные технологии безопасности

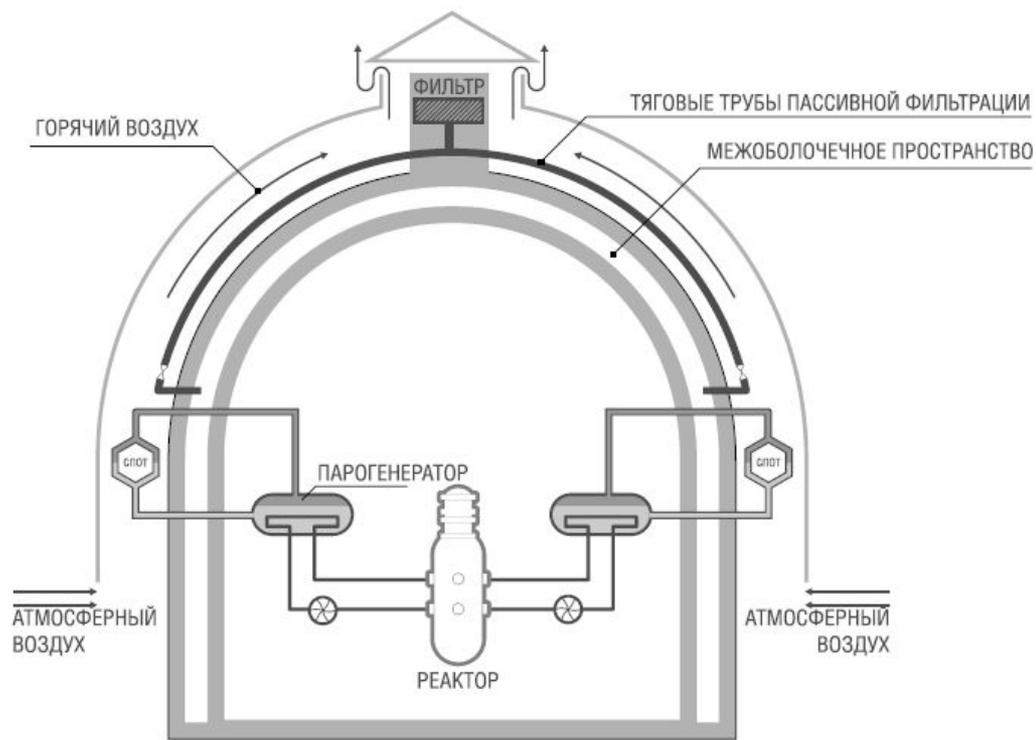


Система пассивного отвода тепла

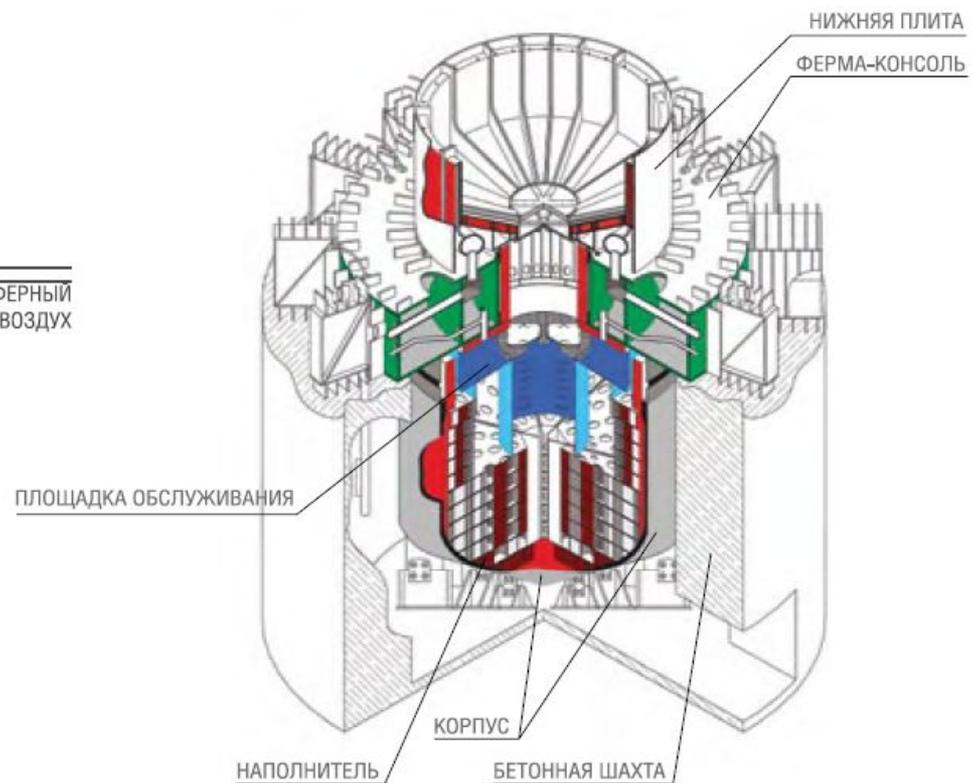


Пассивный залив активной зоны

Пассивные технологии безопасности



Система пассивной фильтрации межбололочечного пространства



Пассивная локализация и удержание коруума

Сравнение значений глубины выгорания для РУ ВВЭР-1200 и ВВЭР-1000

Глубину выгорания топлива определяют как количество энергии, полученной с единицы массы топлива, загруженного в реактор, за время его пребывания в активной зоне.

Параметр	ВВЭР-1200	ВВЭР-1000
Максимальная глубина выгорания топлива, МВт*сут/кгU	75	55

Увеличение глубины выгорания ограничено пределом прочности второго барьера безопасности.

Защитные барьеры АЭС



1. ТОПЛИВНАЯ ТАБЛЕТКА (МАТРИЦА)

Использование топлива в форме таблеток предотвращает выход подавляющего количества нуклидов, образующихся в процессе деления



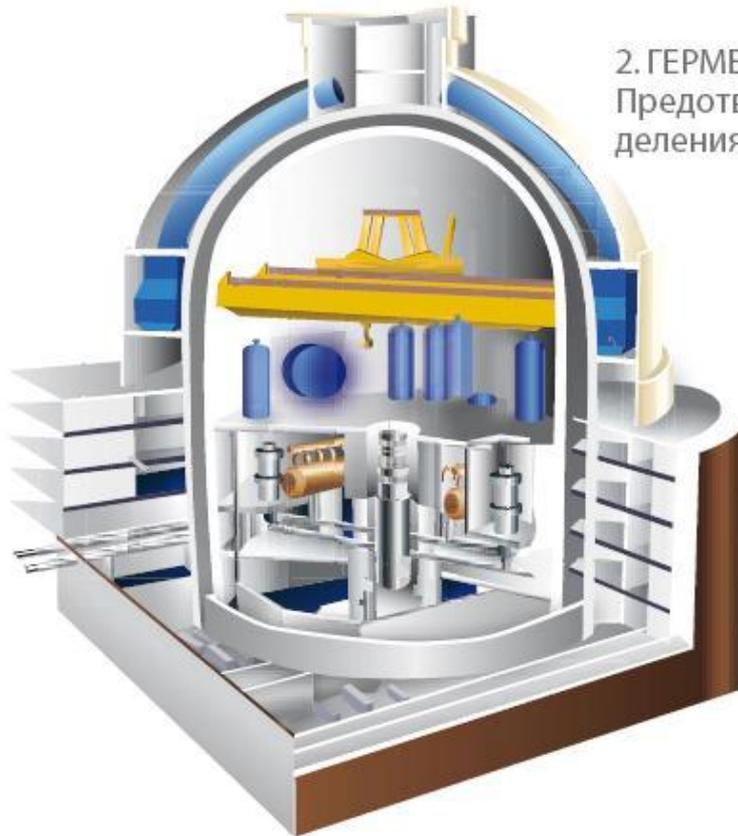
2. ГЕРМЕТИЧНАЯ ОБОЛОЧКА ТВЭЛА

Предотвращает выход продуктов деления из циркониевых трубок



3. СИСТЕМА ПЕРВОГО КОНТУРА

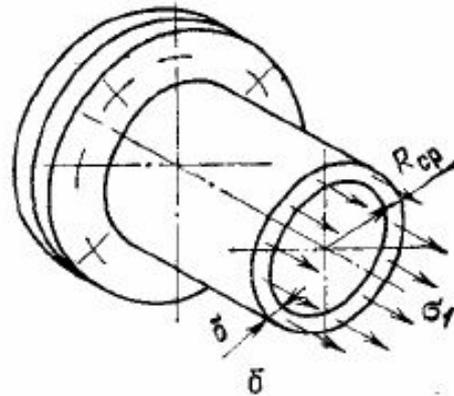
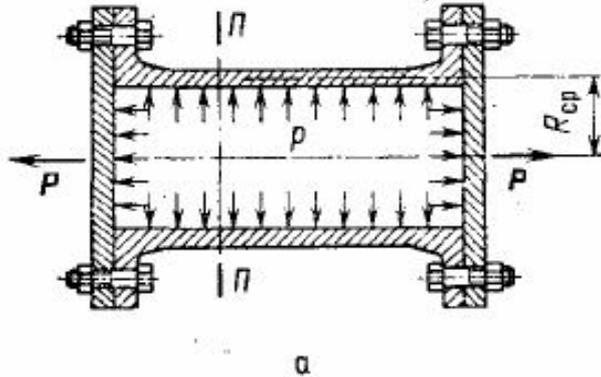
Предотвращает вход продуктов деления из корпуса реактора и теплоносителя первого контура



4. ВНЕШНЯЯ ЗАЩИТНАЯ ОБОЛОЧКА

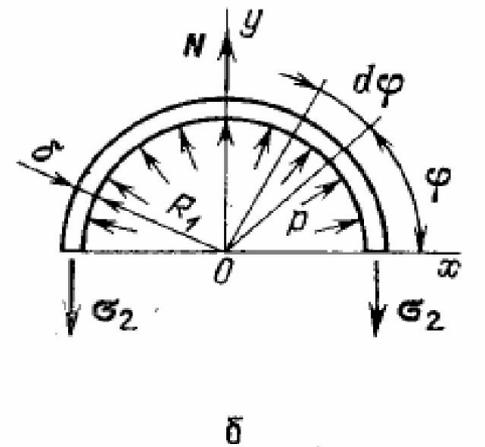
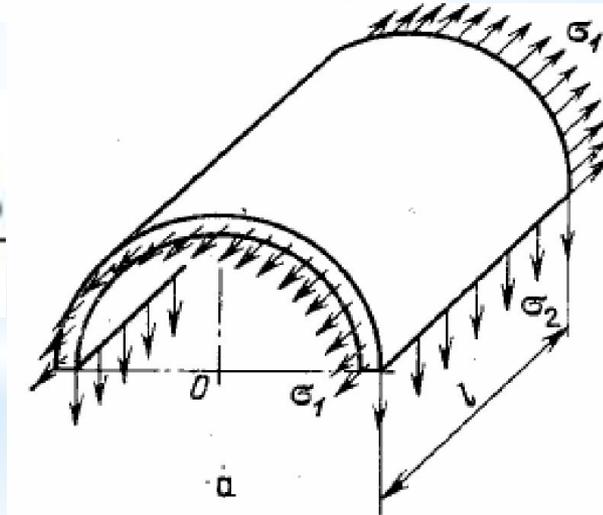
Стены из железобетона около метра толщиной (контейнмент) и система герметизации предотвращают выход продуктов деления в окружающую среду из реакторного зала. Внутри (в шахте) размещается все оборудование и трубопроводы первого контура: бак реактора, парогенераторы, циркуляционные ветви с главными циркуляционными насосами, компенсатор давления, гидроемкости аварийного охлаждения

Напряжения в цилиндрическом сосуде (ТВЭЛе)



$$\sigma_1 = p \frac{R_{cp}}{2\delta}$$

$$\sigma_2 = p \frac{R_{cp}}{\delta}$$



σ_1 - нормальное напряжение;

σ_2 - окружное напряжение;

p - давление, действующее в тонкостенном цилиндрическом сосуде;

δ - толщина оболочки трубы;

R_{cp} - средний радиус.

Незаполненный объем в ТВЭЛе может быть вычислен как:

$$V_c = V_{\pi} + V_{\text{заз}} + V_{\text{к.о.}} = \pi \alpha R_{\text{т.т.}}^2 h + \pi h (R_{\text{в}}^2 - R_{\text{т.т.}}^2) + \pi R_{\text{в}}^2 h_{\text{к.о.}} = \\ = \pi \{ R_{\text{в}}^2 (h + h_{\text{к.о.}}) - R_{\text{т.т.}}^2 h (1 - \alpha) \}$$

V_{π} – объем, обусловленный наличием пористости топлива;

$V_{\text{заз}}$ – объем, обусловленный наличием зазора между топливными таблетками и оболочкой ТВЭЛа;

$V_{\text{к.о.}}$ – компенсационный объем;

α – начальная пористость топлива;

$R_{\text{т.т.}}$ – радиус топливной таблетки;

$R_{\text{в}}$ – внутренний радиус ТВЭЛа;

h – высота топливного столба;

$h_{\text{к.о.}}$ – высота компенсационного объема.

В результате объемного распухания топлива незаполненный объем в ТВЭЛе уменьшается и становится равным:

$$V'_c = V_c - V_{\text{т}}(1 - \alpha)A = \pi \{ R_{\text{в}}^2 (h + h_{\text{к.о.}}) - R_{\text{т.т.}}^2 h (1 - \alpha)(1 + A) \}$$

$V_{\text{т}}$ – объем топлива в ТВЭЛе;

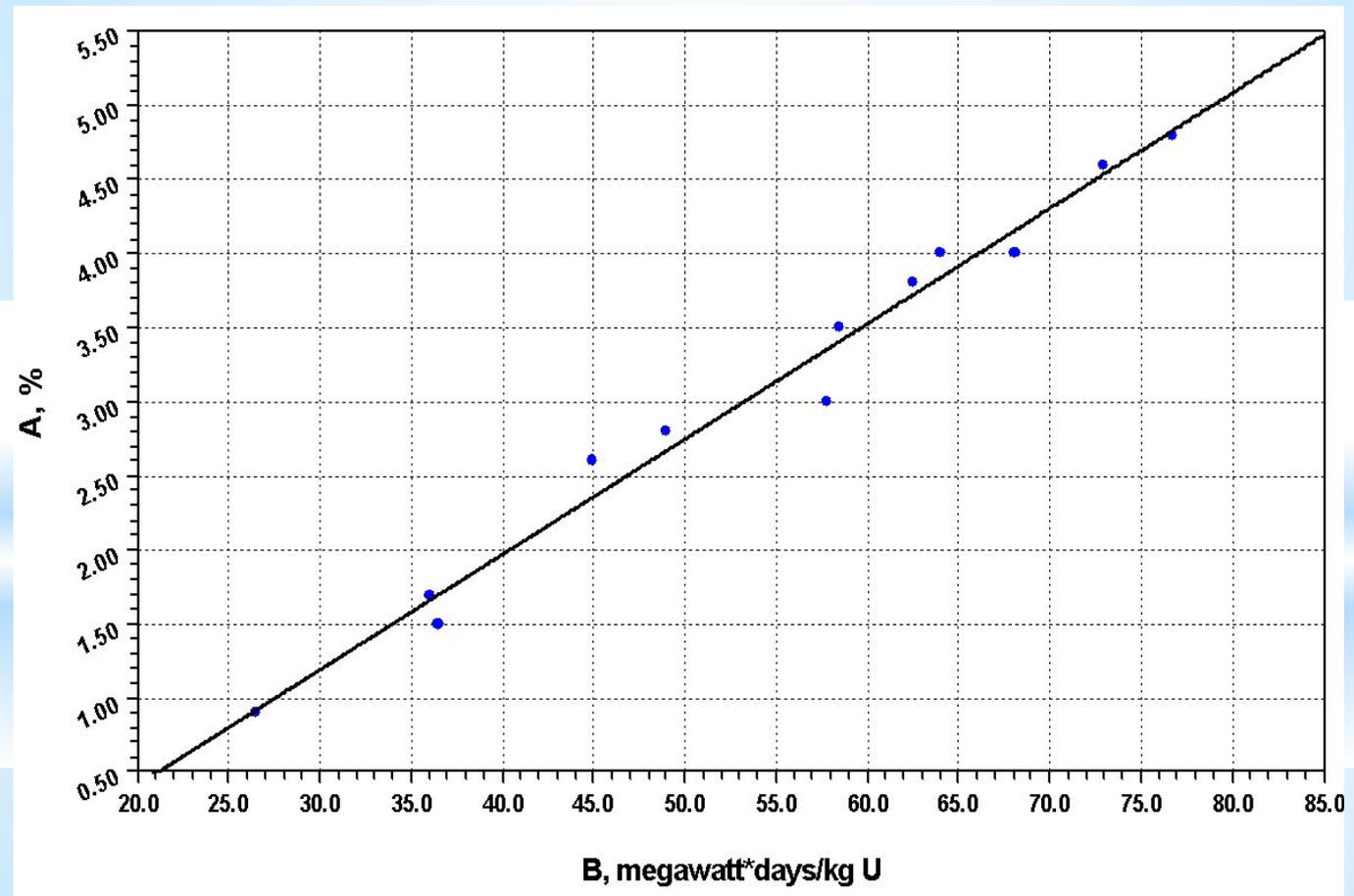
A – объемное распухание топлива

Соответственно за счет уменьшения свободного объема увеличивается давление внутри ТВЭЛа:

$$p = p_0 \frac{V_c}{V'_c} = p_0 \frac{R_B^2(h + h_{к.о.}) - R_{Т.Т.}^2 h(1 - \alpha)}{R_B^2(h + h_{к.о.}) - R_{Т.Т.}^2 h(1 - \alpha)(1 + A)}$$

p_0 – давление гелия под оболочкой ТВЭЛа

Зависимость объемного распухания топлива ВВЭР($A, \%$) от глубины выгорания($B, \text{МВт} \cdot \text{сут} / \text{кг U}$)



При глубине выгорания $V = 75 \text{ МВт*сут/кг U}$:

объемное распухание топлива $A = 4,7 \%$;

$$p = 3,5 \text{ МПа};$$

$$\sigma_2 = 25,7 \text{ МПа}.$$

Для материала 99% Zr + 1% Nb :

$$\sigma_{0,2} = 80 \text{ МПа}, \sigma_b = 230 \text{ МПа}$$

ВЫВОДЫ:

- проведен анализ современных систем безопасности АЭС и тенденций их развития;
- приведена оценка давления внутри ТВЭЛа, входящего в состав ТВС-2М, используемой в реакторе ВВЭР-1200 проекта «АЭС-2006» при глубине выгорания 75 МВт*сут/кг U. Давление внутри ТВЭЛа составляет примерно 3,5 МПа;
- окружные напряжения в оболочке ТВЭЛа при глубине выгорания 75 МВт*сут/кг U равны

$$\sigma_2 = 25,7 \text{ Мпа}$$

Сравнивая это значение с пределом текучести $\sigma_{0,2} = 80 \text{ МПа}$ и пределом прочности $\sigma_b = 230 \text{ МПа}$ материала оболочки ТВЭЛа, можно сделать вывод, что ТВЭЛ выдерживает такую нагрузку, но при такой глубине выгорания незаполненный объем, обусловленный пористостью топлива, полностью «забивается» продуктами деления, и поэтому при бóльших глубинах выгорания

**ПРЕДЕЛ ПРОЧНОСТИ ОБОЛОЧЕК ТВЭЛОВ МОЖЕТ БЫТЬ
ПРЕВЫШЕН.**

*Спасиба!!!